



Docket No. 61181-00007USPX

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): Alessio M. D'arrigo Guiseppe et al.) Group Art Unit: Not Assigned
Serial No.: 10/726,264) Examiner: Not Assigned
Filed: December 2, 2003)
For: METHOD FOR REALIZING MICROCHANELS IN AN INTEGRATED
STRUCTURE

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the U.S. Postal Service with sufficient postage as First Class Mail, in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450, on the date shown below.

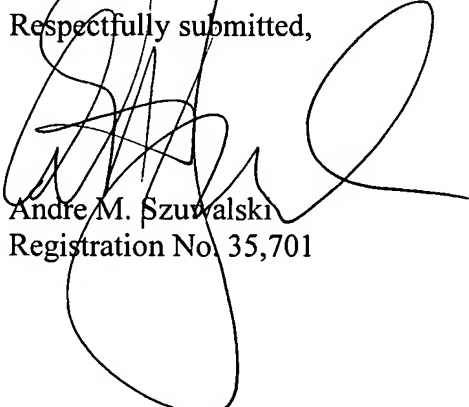
Dated: 1-15-04 Signature: Carol Mitchell
(Carol Mitchell)

Dear Sir:

CLAIM OF PRIORITY UNDER 35 U.S.C. § 119

Under the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicant hereby claims priority from European Application No. 02425746.1 filed December 4, 2002, which is mentioned in the declaration of the above-identified application. A certified copy of the priority document is filed herewith.

Respectfully submitted,


Andre M. Szurwalski
Registration No. 35,701

Jenkins & Gilchrist
A Professional Corporation
1445 Ross Avenue, Suite 3200
Dallas, Texas 75202-2799
(214) 855-4795 (Direct)
(214) 855-4300 (Fax)





**Europäisches
Patentamt**

**Eur pean
Patent Office**

**Office européen
des brevets**

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

02425746.1

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk



Anmeldung Nr:
Application no.: 02425746.1
Demande no:

Anmeldetag:
Date of filing: 04.12.02
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

STMicroelectronics S.r.l.
Via C. Olivetti, 2
20041 Agrate Brianza (Milano)
ITALIE

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué se referer à la description.)

Method for realizing microchannels in an integrated structure

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)
revendiquée(s)

Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

H01L/

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE SI SK

See for original title of the application page 1 of the description

Titolo: Processo per realizzare microcanali in una struttura integrata.

DESCRIZIONE

Campo di applicazione

- 5 La presente invenzione fa riferimento ad un processo per realizzare microcanali in una struttura integrata.

Più specificatamente l'invenzione si riferisce ad un processo per realizzare microcanali sepolti in una struttura integrata comprendente un substrato di silicio monocristallino.

- 10 L'invenzione riguarda in particolare, ma non esclusivamente, un processo per realizzare microcanali miniaturizzati sepolti in una matrice completamente monocristallina e la descrizione che segue è fatta con riferimento a questo campo di applicazione con il solo scopo di semplificarne l'esposizione.

15 Arte nota

- Come è ben noto, gli array di microcanali sono largamente utilizzati in diversi sistemi quali i sistemi medicali per la somministrazione di fluidi, le apparecchiature ad utilizzo biologico per fabbricare microreattori miniaturizzati, in processi di elettroforesi, in applicazioni a DNA chips, nelle celle a combustibile integrate. I microcanali sono anche utilizzati, ad esempio, per il raffreddamento dei dispositivi posizionati al di sopra dei microcanali.

Per realizzare un sistema di microcanali sono però tradizionalmente richieste complicate procedure.

- 25 In particolare i processi di realizzazione di tali microcanali richiedono il cosiddetto wafer bonding, l'uso di substrati per la realizzazione di trench molto profondi o l'allineamento fronte retro per aprire le strutture dal retro del wafer.

Un processo di realizzazione di microcanali è descritto ad esempio nel

brevetto statunitense No. 6,376,291 concesso il 23 aprile 2002 a nome della Richiedente stessa. In particolare, questo documento descrive un processo per realizzare in un corpo di silicio monocristallino una regione di innesco di etching per il silicio monocristallino nella quale
5 viene prevista una regione di nucleo circondata da una struttura protettiva ed avente un'apertura che si estende lungo tutta la regione di innesco di etching.

Secondo tale documento, uno strato policristallino viene cresciuto superiormente all'apertura in modo da realizzare una cavità
10 completamente immersa nel wafer così ottenuto. Pur vantaggioso sotto molti aspetti, il processo descritto da questo documento risulta piuttosto complicato e non permette di ottenere una microstruttura finale completamente cristallina.

Il problema tecnico che sta alla base della presente invenzione è quello
15 di escogitare un processo per realizzare microcanali, avente caratteristiche strutturali e funzionali tali da superare le limitazioni e gli inconvenienti che tuttora limitano i processi realizzati secondo l'arte nota.

Sommario dell'invenzione

20 L'idea di soluzione che sta alla base della presente invenzione è quella di utilizzare strutture a trench per ottenere cavità profonde in silicio contraddistinte da una piccola apertura in superficie come precursori per la realizzazione di microcanali in una struttura integrata, ottenendo in tal modo una struttura finale totalmente cristallina.

25 Sulla base di tale idea di soluzione il problema tecnico è risolto da un processo per realizzare microcanali in una struttura integrata del tipo precedentemente indicato e definito dalla parte caratterizzante della rivendicazione 1.

30 Le caratteristiche ed i vantaggi del processo secondo l'invenzione risulteranno dalla descrizione, fatta qui di seguito, di un suo esempio di realizzazione dato a titolo indicativo e non limitativo con riferimento ai

disegni allegati.

Breve descrizione dei disegni

In tali disegni:

- la Figura 1 mostra schematicamente una sezione di una struttura
5 integrata con almeno un microcanale realizzato con il processo secondo
l'invenzione;
- le Figure 2, 3A, 3B, 4 sono micrografie della struttura integrata di
Figura 1 in diverse fasi del processo secondo l'invenzione;
- la Figura 5 mostra schematicamente una struttura integrata con
10 microcanali realizzato secondo una variante del processo secondo
l'invenzione;
- le Figure da 6A a 6F illustrano schematicamente una struttura
integrata con microcanali in diverse fasi di una ulteriore variante di
realizzazione del processo secondo l'invenzione;
- 15 - le Figure 7A e 7B mostrano micrografie della struttura integrata
finale con microcanali realizzata con il processo secondo l'invenzione.

Descrizione dettagliata

Con riferimento a tali figure, ed in particolare alla Figura 1, con 1
complessivamente e schematicamente indicata una struttura integrata
20 comprendente una pluralità di microcanali 10 realizzati secondo
l'invenzione.

In particolare, la struttura integrata 1 comprende un substrato 2 di
silicio monocristallino sul quale è cresciuto uno strato 3 di silicio
monocristallino.

25 Lo strato 3 di silicio monocristallino viene a sua volta ottenuto tramite
crescita epitassiale sopra opportune cavità (romboedriche nell'esempio
illustrato) di detti microcanali 10 senza l'utilizzo di ricoperture.

Vantaggiosamente, secondo l'invenzione, i microcanali 10 sono completamente sepolti nel substrato 2 e la struttura integrata 1 finale risulta essere totalmente monocristallina.

5 Vengono ora descritte le fasi del processo secondo l'invenzione per la realizzazione dei microcanali 10 sepolti in una struttura integrata 1 completamente monocristallina. Come si vedrà nel seguito della descrizione, vantaggiosamente, secondo l'invenzione, tali canali miniaturizzati sono ottenuti totalmente con processi di micromachining superficiali.

10 Il processo per la realizzazione dei microcanali 10 sepolti in una struttura integrata 1 secondo l'invenzione comprende le fasi di:

- prevedere un substrato 2 di silicio monocristallino;
- realizzare sulla superficie del substrato 2 una maschera (Hard mask) in nitruro di silicio tramite la tecnica di deposizione CVD;
- 15 - aprire una finestra di larghezza L opportuna tramite sistemi fotolitografici e successivo attacco in plasma.

In particolare, come schematicamente illustrato in Figura 2, al di sopra del substrato 2 viene aperta una finestra della larghezza L di circa 1 μm e di profondità H di circa 9 μm lungo la direzione del substrato 2, 20 indicata in figura con la freccia F.

Vantaggiosamente secondo l'invenzione, il processo prevede un successivo attacco in plasma che utilizza l'Hard mask per la formazione di trench profondi 4 nel substrato 2, come mostrato in Figura 2. I trench 4 presentano pareti laterali 4A e 4B sostanzialmente ortogonali 25 alla superficie del substrato 2.

La struttura così formata è quindi sottoposta ad un ulteriore attacco anisotropo in umido, ad esempio con una soluzione di TMAH o in KOH.

È opportuno notare che soluzioni a differenti concentrazioni di KOH o TMAH attaccano il silicio monocristallino del substrato 2 con velocità

fortemente dipendenti dalle orientazioni cristallografiche e dalla concentrazione di droganti del substrato 2 stesso. E' così possibile, utilizzando un attacco mediante soluzioni di TMAH o in KOH, realizzare microcanali 10 tridimensionali fortemente controllabili e riproducibili.

- 5 Vantaggiosamente secondo l'invenzione, i trench 4 costituiscono i precursori dei microcanali 10.

La struttura integrata 1, successivamente alla fase di attacco anisotropo, assume la forma riportata nelle Figure 3A e 3B, dove viene mostrato un singolo microcanale o una pluralità degli stessi,
10 rispettivamente.

Vantaggiosamente secondo l'invenzione, i microcanali 10 così ottenuti presentano una forma romboedrica.

In particolare, la forma originale dei trench 4 (illustrata in Figura 2) si trasforma in una coppia di cosiddette v-grooves V1 e V2, ruotate
15 ortogonali alla superficie S del substrato 2 e definenti microcanali 10 a forma romboedrica, come illustrato in Figura 3A.

In altre parole, viene ottenuta una cavità profonda con forma a collo di bottiglia presentante una piccola apertura alla superficie S del substrato 2.

20 In pratica, con il protrarsi del tempo di attacco, a causa della presenza di un cosiddetto under cut sotto l'hard mask alla superficie del substrato 2, i microcanali 10 si aprono superiormente modificando la simmetria tra la parte superiore e inferiore della loro cavità, come schematicamente mostrato in Figura 4.

25 E' tuttavia possibile, limitando il tempo di attacco, ottenere microcanali di opportuna dimensione ampliando la profondità dei trench 4 originari. In alternativa, è possibile sfruttare il cosiddetto effetto di etch stop utilizzando come hard mask uno strato monocristallino fortemente drogato, come schematicamente illustrato in Figura 5, dove il substrato
30 2 ed i microcanali 10 sono ricoperti da uno strato 5 di hard mask fortemente drogato ed in grado di ridurre gli effetti di under cut anche al

protrarsi del tempo di attacco del substrato 2.

In un esempio preferito di realizzazione, lo strato 5 presenta una concentrazione di drogante (ad esempio boro) maggiore di 10^{19} atomi/cm³.

- 5 E' altresì possibile utilizzare una predeposizione sulle pareti del trench 4 di uno strato di materiale 6 avente una bassa velocità di attacco (come ad esempio nitruro).

- 10 In particolare, in tale variante del processo secondo l'invenzione, si prevede una deposizione di uno strato 6 di nitruro seguita da un attacco in plasma atto ad aprire una regione 7 alla base del trench 4, come illustrato nelle Figure da 6A a 6F.

Il processo per la realizzazione dei microcanali 10 sepolti in una struttura integrata 1 secondo tale variante di realizzazione dell'invenzione comprende le fasi di:

- 15 - prevedere un substrato 2 di silicio monocristallino;
- al di sopra del substrato 2, crescere uno strato 3 di silicio monocristallino;
- al di sopra dello strato 3 di silicio monocristallino, realizzare una maschera mediante un film fotoelettrico 8, come schematicamente
- 20 illustrato in Figura 6A.

Il processo prevede quindi le fasi di:

- aprire una pluralità di finestre tramite sistemi fotolitografici e successivo attacco in plasma (Figura 6B);
- realizzare una pluralità di trench 4 in corrispondenza della
- 25 pluralità di finestre (Figura 6C).

Vantaggiosamente secondo tale variante di realizzazione del processo secondo l'invenzione, si prevede quindi una fase di deposizione di uno strato 6 di nitruro (Figura 6D), una fase di rimozione dello strato 6 e da

un attacco del substrato di silicio in una parte inferiore 9 dei trench 4 (Figura 6E) ed una fase di attacco in plasma atto ad aprire una pluralità di regioni 7 alla base dei trench 4 (Figura 6F).

5 In particolare, la fase di attacco in plasma per aprire le regioni 7 alla base dei trench 4 viene attivata solamente nella zona dove è stato eliminato lo strato 6 di nitruro. Si tratta in sostanza di un cosiddetto processo SCREAM, dove le pareti dei trench 4 vengono protette per localizzare l'attacco solo al di sotto della base dei trench stessi.

10 Anche utilizzando questa variante del metodo secondo l'invenzione, si ottengono quindi regioni 7 profonde che presentano comunque una piccola apertura in superficie in corrispondenza delle zone di apertura dei trench 4.

15 Vantaggiosamente secondo l'invenzione, i trench 4 vengono utilizzati per un attacco anisotropo atto ad ottenere microcanali romboedrici. La forma prodotta è dovuta alle diverse velocità di attacco delle differenti direzioni cristallografiche.

20 Le pareti laterali 4A e 4B dei trench 4 subiscono l'azione anisotropa dell'attacco e l'erosione procede con differenti velocità di attacco dovute alla differente coordinazione degli atomi (in termini di quantità di legami degli atomi di silicio rivolti verso il substrato).

In particolare, gli atomi sui piani del tipo (100) hanno coordinazione due, ossia due legami rivolti verso il substrato, mentre gli atomi sui piani del tipo (111) hanno coordinazione tre, ossia tre legami rivolti verso il bulk (vale a dire che sono maggiormente legati).

25 I trench 4 risultano diretti lungo le direzioni (110) sulla superficie di wafer di tipo (100). I piani (111) individuano sulla superficie del wafer proprio la direzione (110) e sono ruotati rispetto la normale alla superficie di 54,7°.

30 In particolare vi sono due piani che passano dalla parte superiore dei trench 4 e due nella parte inferiore. Tutti gli atomi lungo queste direzioni hanno coordinazione tre.

Vantaggiosamente secondo l'invenzione, il processo parte erodendo gli atomi a più bassa coordinazione che sono contraddistinti da una più alta velocità. Dopo che sono state raggiunte le direzioni dei piani (111) che passano dalla parte superiore e dalla parte inferiore dei trench 4, la
5 velocità si abbassa di circa cento volte perché individua solo atomi con coordinazione tre per cui procede con la velocità di attacco dei piani (111) come illustrato nelle Figure 3A e 3B. In particolare, si ottiene un microcanale 10 aperto verso la superficie del substrato 2.

Vantaggiosamente, secondo l'invenzione, si ottengono quindi di cavità
10 profonde in silicio contraddistinte da una piccola apertura in superficie a cui è possibile applicare una fase di deposizione di silicio per ottenere una struttura monocristallina.

In altre parole, i microcanali 10 presentano un precursore a forma di sezione di bottiglia o romboedrico (ottenuto come sopra indicato) che
15 viene chiuso facilmente in maniera epitassiale utilizzando ossidi, polysilici e altri materiali adeguati.

Vantaggiosamente secondo l'invenzione, il processo prevede una ulteriore fase di ricrescita epitassiale conforme del materiale per chiudere superiormente il microcanale 10, come illustrato nella Figura
20 7A. E' così possibile ottenere microcanali 10 totalmente sepolti in silicio monocristallino.

In Figura 7B è stato riportato per completezza il profilo del canale prima (10A) e dopo (10B) la fase di ricrescita epitassiale. Si verifica così che la deposizione di materiale monocristallino è avvenuta in maniera
25 conforme anche all'interno del microcanale 10.

E' altresì possibile chiudere superiormente i microcanali utilizzando altre tecniche di deposizioni come deposizioni di ossido o di poly-Si o nitruri.

In conclusione, il processo per la realizzazione dei microcanali 10 sepolti
30 in una struttura integrata 1 secondo l'invenzione consente, grazie alla forma dell'attacco ottenuto, di ampliare la struttura del microcanale al

di sotto della superficie del substrato 2, pur mantenendo piccola l'apertura di attacco tramite i trench 4. La chiusura dei microcanali in superficie è quindi effettuata ricrescendo epitassialmente il materiale.

- 5 Infine, vantaggiosamente secondo l'invenzione, la struttura integrata 1 risulta totalmente epitassiale anche al di sopra dei microcanali 10 e viene realizzata sfruttando una cavità profonda contraddistinta da una piccola apertura in superficie, che può essere ottenuta in vari tipi di processi, nonché una facilitata ricrescita epitassiale di questa cavità.

RIVENDICAZIONI

1. Processo per realizzare microcanali (10) sepolti in una struttura integrata (1) comprendente un substrato di silicio monocristallino (2) caratterizzato dal fatto di realizzare in detto substrato (2) almeno un
5 trench (4) e di ottenere detti microcanali (10) a partire da una cavità profonda contraddistinta da una piccola apertura in superficie ottenuta per attacco anisotropo di detto almeno un trench (4), detti microcanali (10) essendo completamente sepolti all'interno di detto substrato (2) in una struttura completamente monocristallina.
- 10 2. Processo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto di comprendere le fasi di:
 - deposizione di una maschera al di sopra di detto substrato (2);
 - apertura di finestre di larghezza (L) opportuna;
 - attacco in plasma che utilizza detta maschera per la formazione di
15 detti trench (4) aventi pareti laterali (4A, 4B) sostanzialmente ortogonali alla superficie di detto substrato (2);
 - attacco anisotropo in umido per realizzare, a partire da detti trench (4), detti microcanali (10), detta fase di attacco anisotropo prevedendo velocità di attacco differenti dovute alla differente
20 coordinazione degli atomi.
3. Processo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto di comprendere ulteriormente una fase di ricrescita epitassiale conforme atta a chiudere superiormente detti microcanali (10).
4. Processo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto di
25 comprendere ulteriormente una fase di deposizione di ossido, poly-Si o nitruro atta a chiudere superiormente detti microcanali (10).
5. Processo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detta fase di attacco anisotropo trasforma dette pareti laterali (4A, 4B) di detti trench (4) in una coppia di v-grooves (V1, V2) ruotate ortogonali

ad una superficie (S) di detto substrato (2) e definenti microcanali (10) a forma romboedrica.

5 6. Processo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detta fase di attacco in plasma viene effettuata con una soluzione di TMAH o in KOH.

7. Processo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detta fase di apertura di finestre di larghezza (L) opportuna viene effettuata tramite sistemi fotolitografici e successivo attacco in plasma.

10 8. Processo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detta fase di deposizione di una maschera al di sopra di detto substrato (2) prevede una deposizione di nitruro di silicio tramite la tecnica di deposizione CVD.

15 9. Processo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detta fase di deposizione di una maschera al di sopra di detto substrato (2) prevede una fase di deposizione di uno strato monocristallino fortemente drogato (5).

10. Processo secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che detto strato monocristallino fortemente drogato (5) presenta una concentrazione di drogante maggiore di 10^{19} atomi/cm³.

20 11. Processo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto di comprendere ulteriormente una fase di deposizione di un strato di materiale (6) avente una bassa velocità di attacco.

25 12. Processo secondo la rivendicazione 11, caratterizzato dal fatto di comprendere ulteriormente una fase di attacco in plasma atto ad aprire una regione (7) alla base di detti trench (4).

13. Processo secondo la rivendicazione 11, caratterizzato dal fatto di comprendere una fase di rimozione di detto strato (6) e da un attacco di detto substrato (2) in una parte inferiore (9) di detti trench (4) prima di detta fase di attacco in plasma.

14. Struttura integrata (1) comprendente almeno un substrato (2) di silicio monocristallino nel quale sono realizzati microcanali (10) caratterizzata dal fatto che detti microcanali (10) sono realizzati mediante il processo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 16 e sono
5 completamente sepolti all'interno di detto substrato (2).

15. Struttura integrata (1) secondo la rivendicazione 14, caratterizzata dal fatto che detti microcanali (10) presentano una forma romboedrica.

RIASSUNTO

La presente invenzione descrive un processo per realizzare microcanali (10) sepolti in una struttura integrata (1) comprendente un substrato di silicio monocristallino (2).

- 5 Vantaggiosamente, secondo l'invenzione, il processo prevede di realizzare nel substrato (2) almeno un trench (4) e di ottenere i microcanali (10) a partire da una cavità profonda contraddistinta da una piccola apertura in superficie ottenuta per attacco anisotropo dell'almeno un trench (4).
- 10 I microcanali (10) risultano completamente sepolti all'interno del substrato (2) in una struttura completamente monocristallina.

(Fig. 1)

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

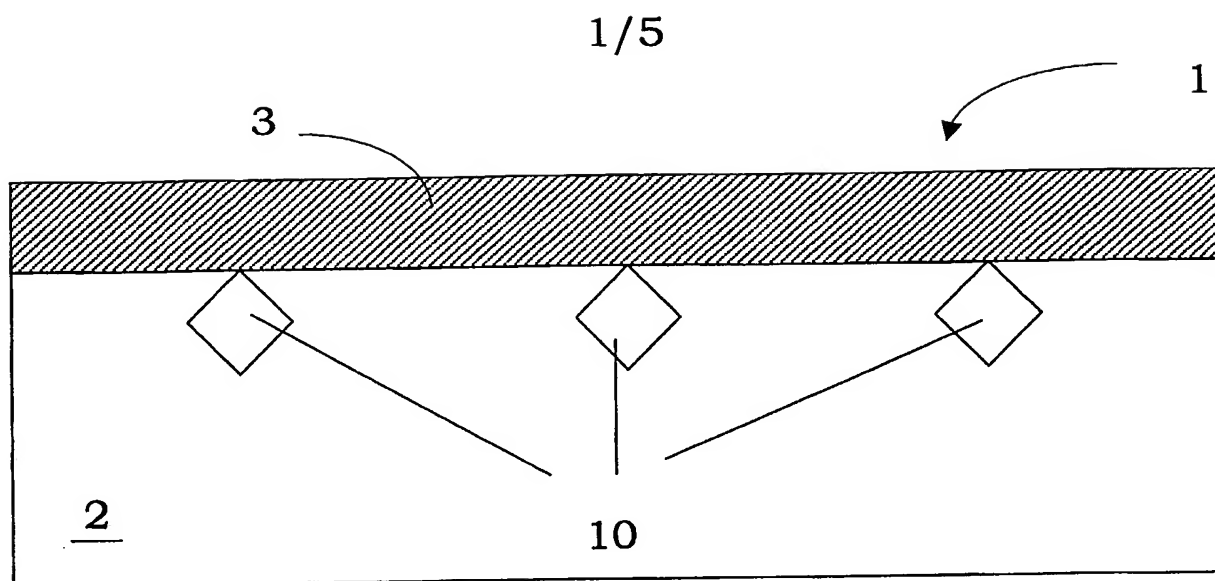


FIG. 1

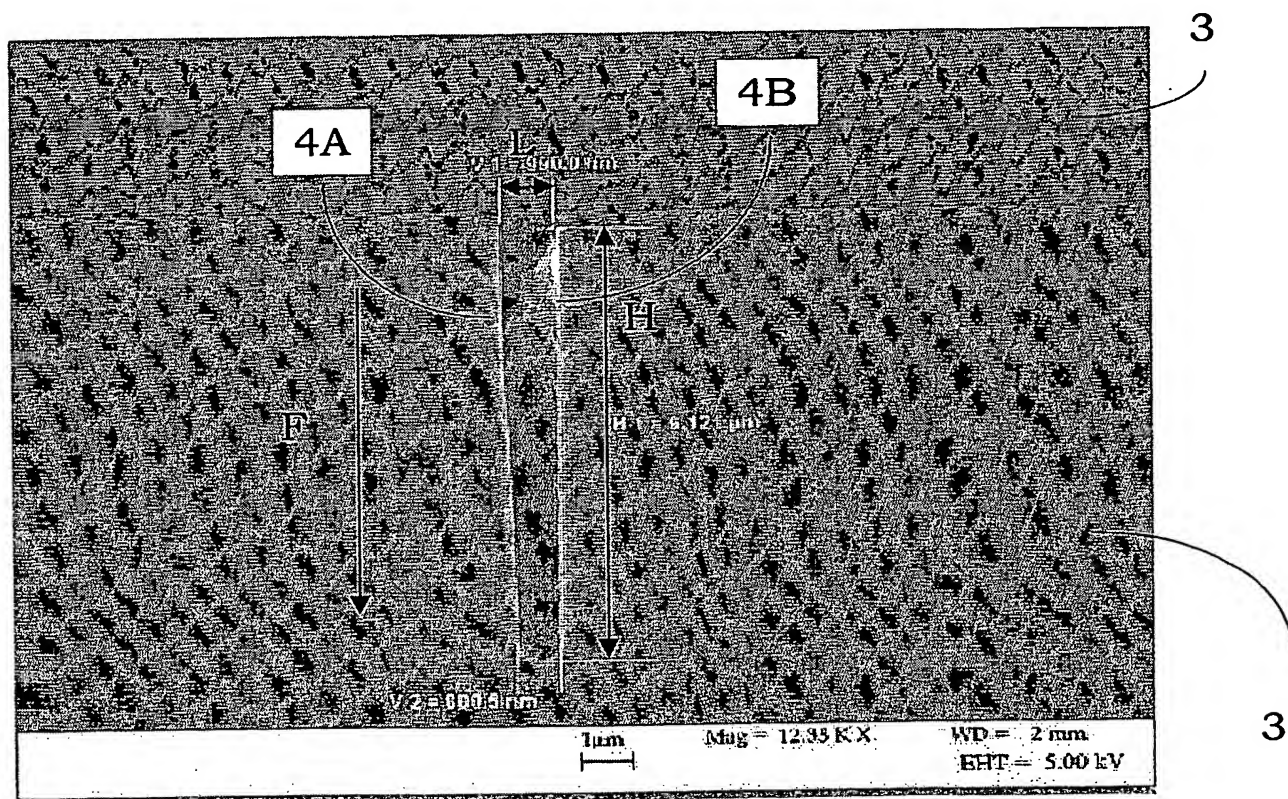


FIG. 2

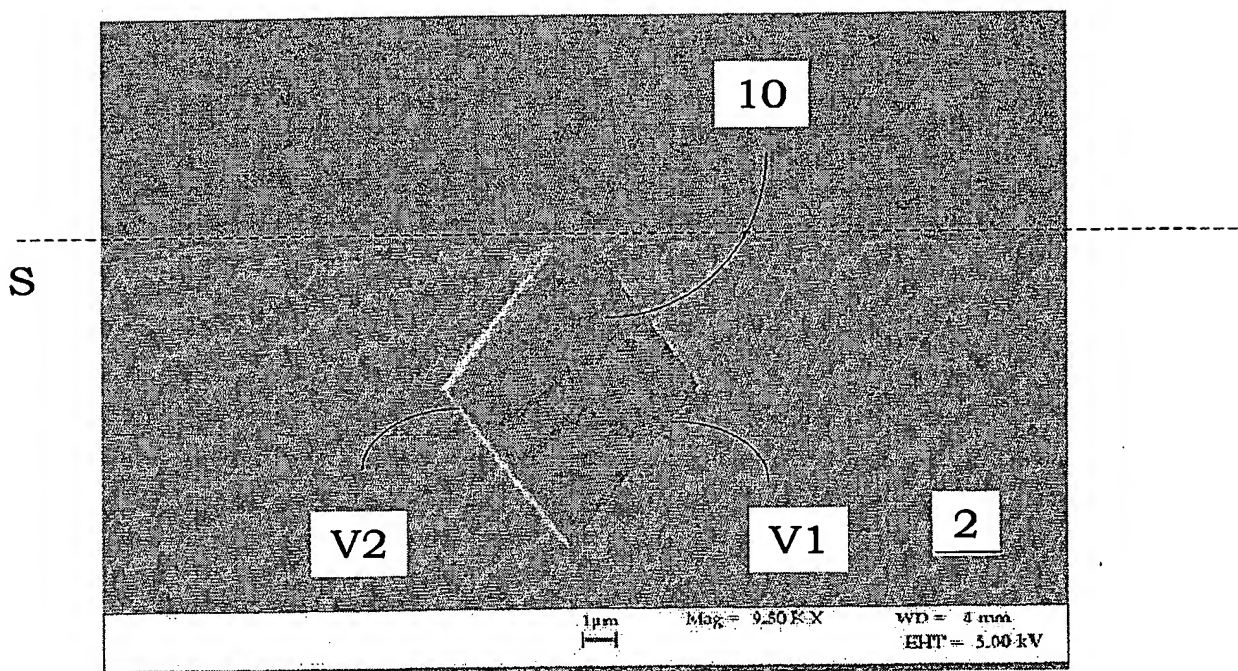


FIG. 3A

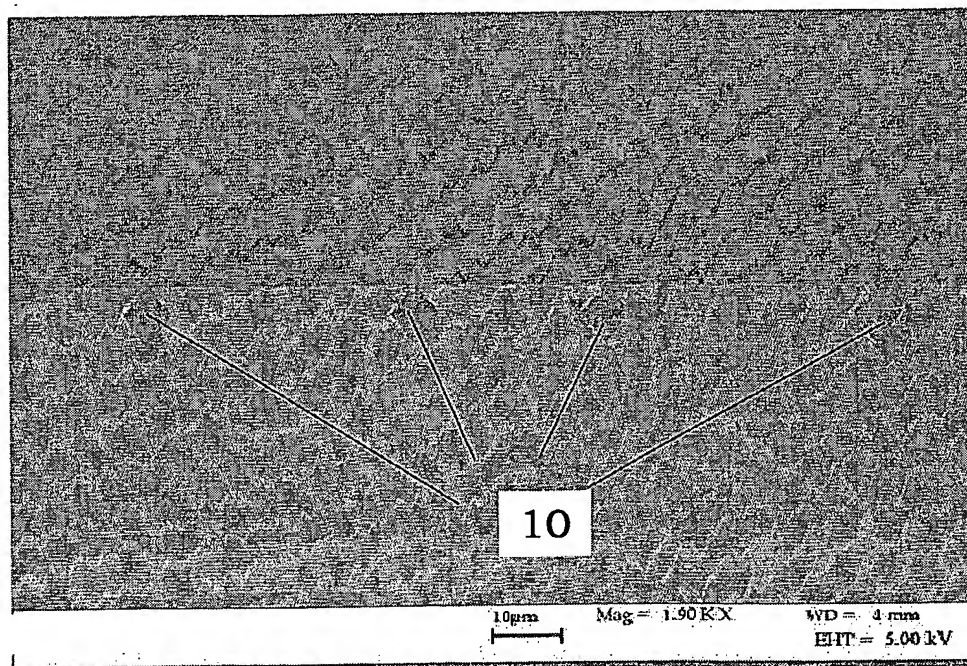


FIG. 3B

3/5

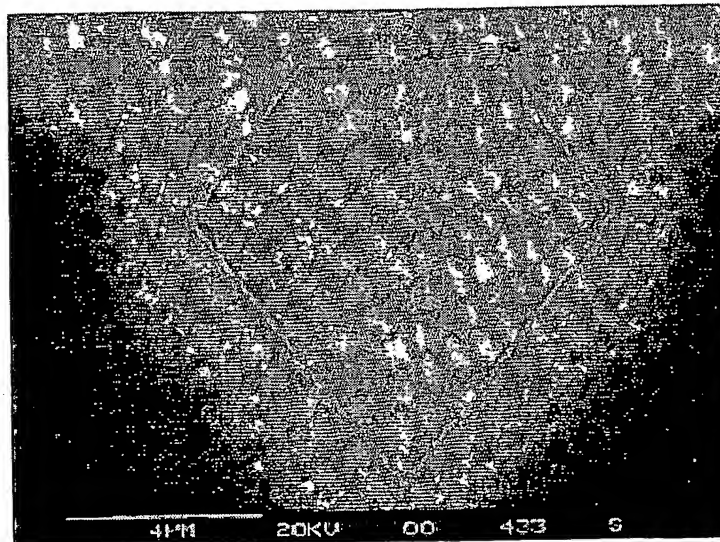


FIG. 4

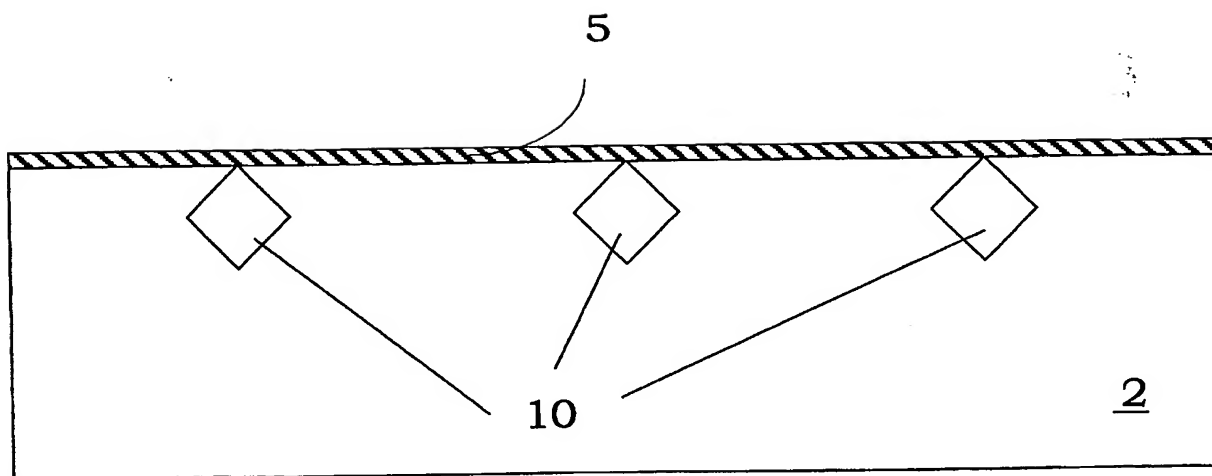


FIG. 5

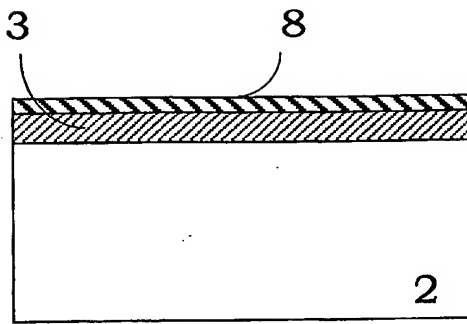


FIG. 6A

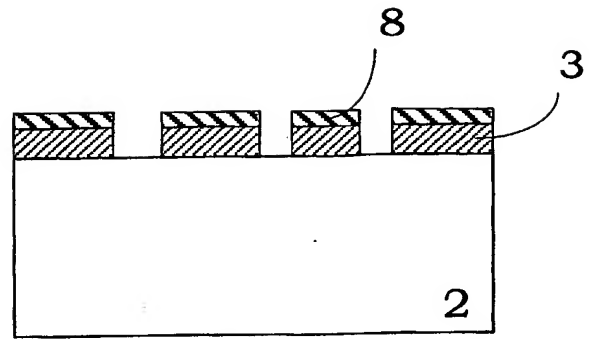


FIG. 6B

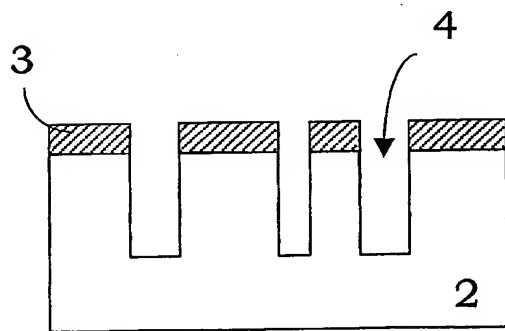


FIG. 6C

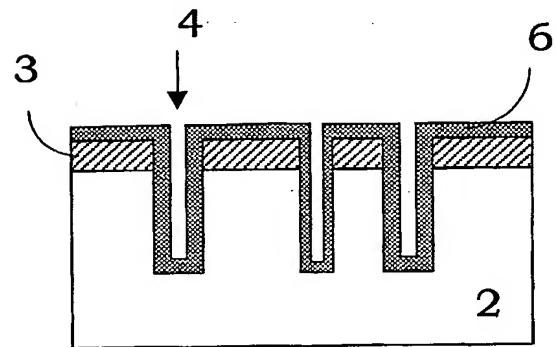


FIG. 6D

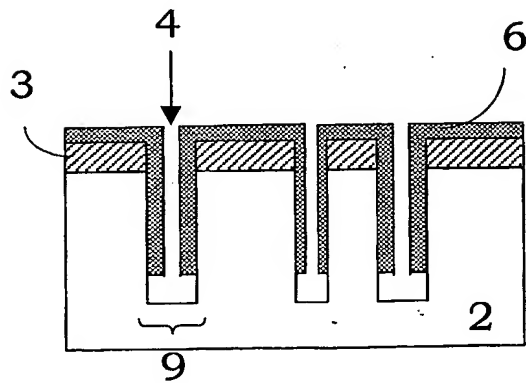


FIG. 6E

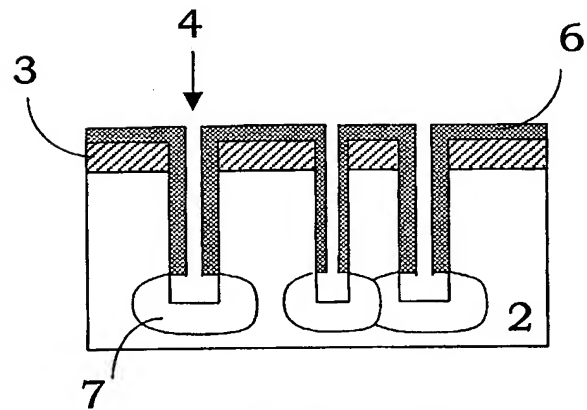


FIG. 6F

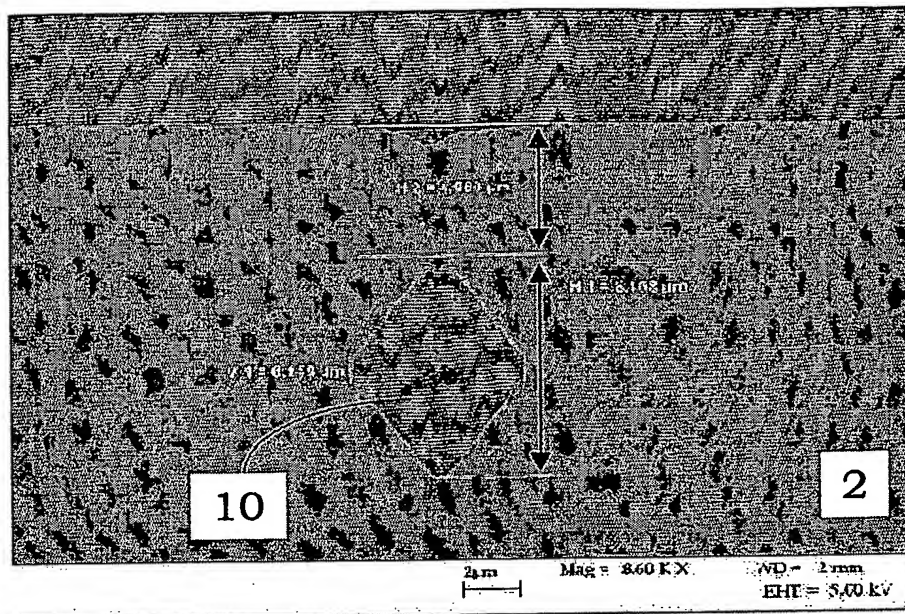


FIG. 7A

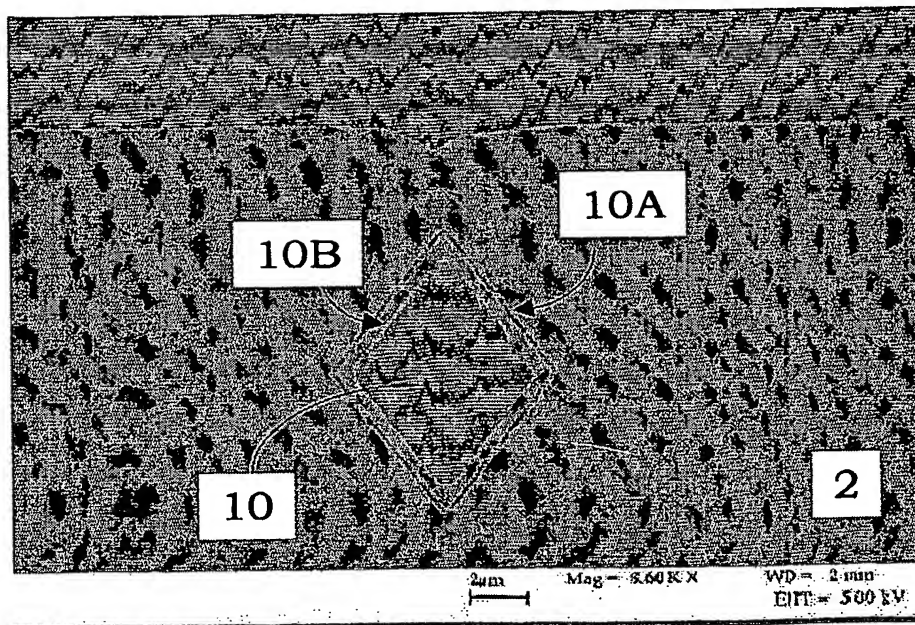


FIG. 7B

